

## **ОСОБЛИВОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ НА FPGA ОКРЕМИХ БЛОКІВ В СИСТЕМАХ З АДАПТИВНОЮ МОДУЛЯЦІЄЮ ТА КОДУВАННЯМ**

**Кайденко М.М., Роскошний Д.В., Криlach О.Ф.**  
*Інститут телекомунікаційних систем НТУУ «КПІ», Україна*  
*E-mail: kkk610@ukrl.net*

### **Features of the implementation on FPGA of the individual blocks in systems with adaptive modulation and coding**

The options considered and the methods of implementation on FPGA adaptive modulator and encoder systems broadband radio access, the construction of which it is possible to use adaptive mechanisms to ensure not only standards, but also from the point of view of optimizing the use of hardware resources

Сучасні системи широкопasmового доступу призначені для роботи в умовах швидких і повільних завмирань та в умовах багатопроменевого розповсюдження сигналу, що потребує застосування ефективних методів компенсації завад, які виникають внаслідок цього. На даний час адаптивна модуляція та кодування є одним з найпоширеніших засобів адаптації до зміни умов роботи. Принципи адаптивної модуляції та кодування базуються на зміні параметрів передачі для отримання заданої якості в умовах зміни параметрів каналу [1-3]. Основними параметрами, що можуть змінюватися, є вид модуляції, швидкість завадостійкого кодування та потужність сигналу на виході передавача.

В практичних рішеннях значення параметрів передачі квантуються і групуються в різний набір режимів передачі, або профілі, при цьому одночасно можуть змінюватись як параметри модуляції, так і параметри завадостійкого кодування при незмінній вихідній потужності передавача. Швидкість кодування може змінюватись як за рахунок перфорування коду при незмінності самого коду, так і за рахунок зміни параметрів коду.

Апаратна реалізація схем адаптивної модуляції та кодування потребує не тільки побудови ефективних систем прийняття рішення, а й оптимальної з точки зору апаратних затрат побудови блоків, в яких реалізуються змінювані параметри - модуляторів, демодуляторів, завадостійких кодерів та декодерів. Простим варіантом є створення тієї кількості блоків, скільки значень параметру використовується в системі з адаптивною модуляцією та кодуванням, але такий підхід не є раціональним, оскільки в більшості випадків існують варіанти оптимізації структури цих блоків.

Нижче розглянуто принципи реалізації схем адаптивної модуляції та завадостійкого кодування а також варіанти та способи реалізації їх на FPGA в системах широкопasmового радіодоступу, які базуються на стандартах IEEE 802.16-2009 в режимі OFDM [3].

Розглядається основний режим роботи при якому застосовуються чотири види модуляції (BPSK, QPSK, QAM 16, QAM 64) та каскадне завадостійке кодування з використанням згорткового коду та коду Ріда-Соломона згідно [2]. Загальна структура побудови схеми адаптивної модуляції та кодування представлена на рис.1.

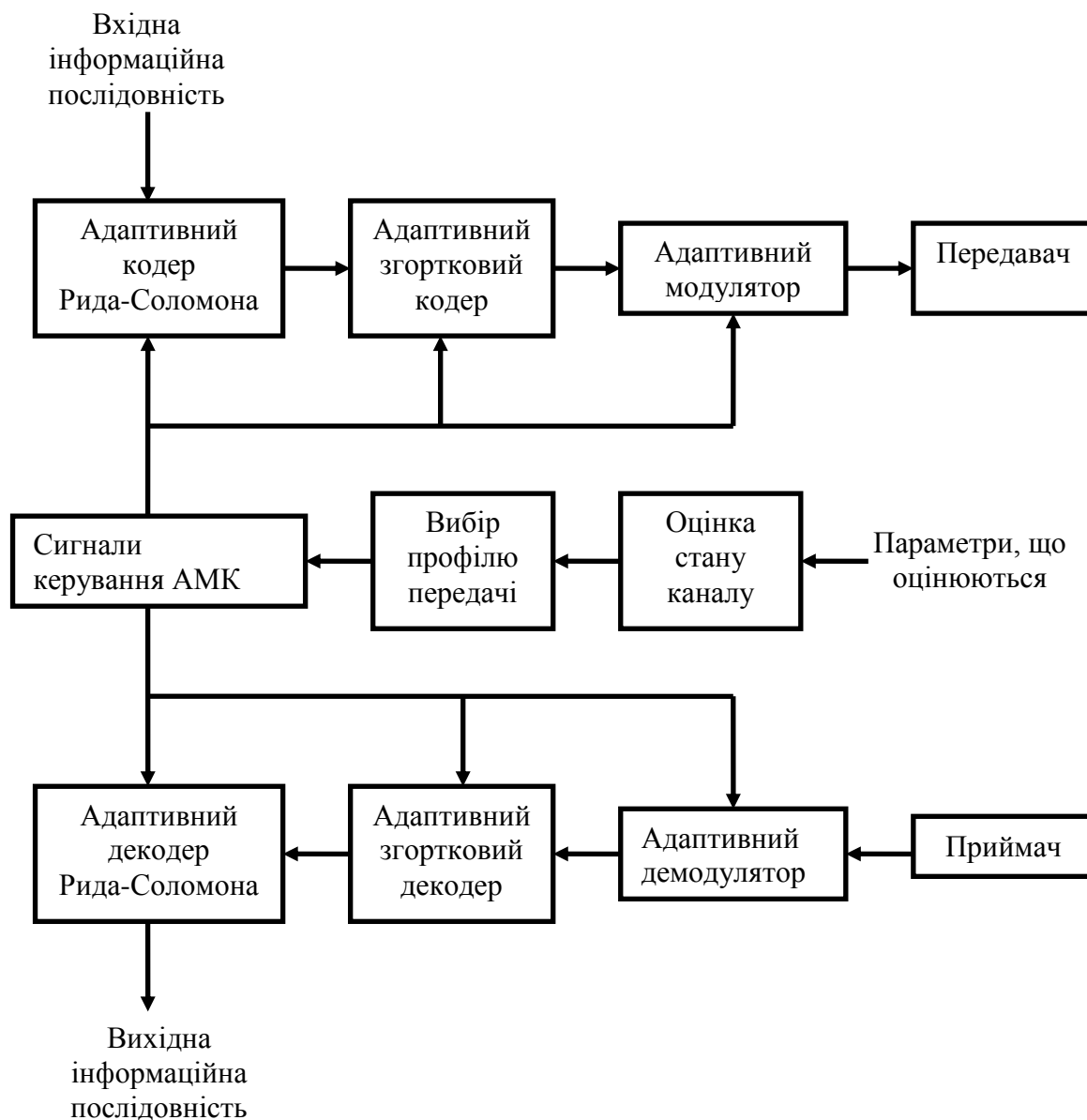


Рис.1. Система з використанням адаптивної модуляції та кодування.

Адаптивний модулятор та демодулятор реалізуються виходячи з властивостей сигнальних сузір'їв для визначених видів модуляції. На фізичному рівні формування сигнального сузір'я на стороні передавача виконує маппер, а зворотну процедуру на стороні приймача – демаппер. Необхідність застосування декількох видів модуляції в системі потребує, в найпростішому випадку, наявності в тракці обробки сигналів декількох мапперів та демапперів, необхідність застосування певного з них у певний час визначається логікою роботи системи. Однак виходячи з того, що сигнальні сузір'я мають близький

принцип побудови, існує можливість використання в системі лише одного маппера та одного демалпера, виконуючи при цьому перетворення над даними, що передаються. В якості універсальної пари маппер-демалпер використовується пару, яка відповідає формуванню сигнального сузір'я QAM-64, оскільки всі інші сузір'я будуються з використанням його елементів. На стороні передавача виконується процедура перекодування вхідних даних маппера QAM-64 для збереження кількості бітів для кожного елемента сигнального сузір'я, на стороні приймача виконується зворотня процедура.

Реалізація адаптивного згорткового кодування базується на тому, що швидкість згорткового коду, який формується за класичною схемою, дорівнює  $1/2$ . Інші швидкості кодування реалізуються шляхом процедури виколування, за рахунок чого швидкість коду може бути адаптована до значень  $2/3$ ,  $3/4$ ,  $5/6$  або  $7/8$  [4, 5].

Декодування згорткових кодів зазвичай провадиться за алгоритмом Вітербі. Декодер Вітербі у класичному вигляді побудовано для роботи з кодовою швидкістю  $1/2$ . Виходячи з цього, доцільною схемою декодування згорткових кодів з використанням FPGA є не побудова банку декодерів для роботи на кожній кодовій швидкості, а поділення операції декодування на дві частини. Першою операцією є зміна (при необхідності) кодової швидкості до значення  $1/2$ , а другою – власне декодування за алгоритмом Вітербі.

Завадостійке кодування кодом Рида-Соломона будується на основі єдиного систематичного поліному. Розмір кодованого блоку та швидкість коду змінюється шляхом перфорування коду максимальної довжини. Ця властивість дозволяє використовувати для кодування блок адаптивної перфорації та кодер систематичного коду, а для декодування блок адаптивної вставки та декодер систематичного коду.

Рішення, які використані для реалізації на FPGA дозволяють істотно знизити апаратні затрати на реалізацію схем адаптивної модуляції та кодування, при цьому швидкість роботи залишається максимально можливою.

## Література

1. Ільченко М.Ю., Кравчук С.О. Телекомунікаційні системи ширококутового радіодоступу. К.: НВП «Видавництво «Наукова думка» НАН України, 2009. 312с.:іл.
2. Кайдено Н.Н. “Особенности выбора параметров модуляции и помехоустойчивого кодирования для оптимальной адаптивной модуляции с системах беспроводного широкополосного доступа с OFDM” // Научно-техническая конференция «Проблемы телекоммуникаций»: Сборник тез. К.: НТУУ «КПІ», 2014р. – С. 141-143.
3. IEEE Std 802.16e™-2009, “IEEE Standard for Local and metropolitan area networks - Part 16: Air Interface Broadband Wireless Access Systems. 29 May 2009.
4. Склад, Бернанд. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е, испр. : Пер. с англ. — М.: Издательский дом "Вильямс", 2003. — 1104 с. : ил.
5. Золотарёв В. В., Овечкин Г. В. Помехоустойчивое кодирование. Методы и алгоритмы: Справочник /Под. ред. чл.-кор. РАН Ю. Б. Зубарева. — М.: Горячая линия-Телеком, 2004.